

Universität Zürich
Zentrum für Zahnmedizin
Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie (PPK)
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Thomas Attin

Arbeit unter Betreuung von Dr. med. dent. Anas Al-Jadaa, PhD
& PD Dr. med. dent. Florian J. Wegehaupt

Abrasionsresistenz von zwei Dentinversiegeln in vitro

INAUGURAL- DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnmedizin
an der Medizinischen Fakultät
der Universität Zürich

vorgelegt von
Sandra Jessica Bader

Genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. med. dent. Patrick R. Schmidlin
Zürich 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Liste der verwendeten Abkürzungen	4
3	Einleitung.....	5
4	Literaturübersicht	6
4.1	Aufbau des menschlichen Zahnes	6
4.2	Epidemiologie der Dentinhypersensibilität	6
4.3	Ätiologie und Pathogenese der Dentinhypersensibilität	7
4.4	Diagnose und Differentialdiagnose der Dentinhypersensibilität	9
4.5	Therapie der Dentinhypersensibilität	10
4.6	Forschung der Dentinhypersensibilität	13
4.7	Fragestellung	14
5	Material und Methoden	15
5.1	Proben	15
5.2	Messkammer	18
5.3	Messprinzip	19
5.4	Messvorgang	19
5.5	Abrasion	22
5.6	Rasterelektronenmikroskop	25
5.7	Ethik	26
5.8	Statistische Auswertung	26
6	Resultate	27
6.1	Dichtigkeit	27
6.2	Visualisierung mit dem Rasterelektronenmikroskop	29
7	Diskussion	31
7.1	Wichtigste Resultate	31
7.2	Die Untersuchungsmethode	31
7.3	Stärken und Limitationen der Studie	32
7.4	Bedeutung der Studie	32
7.5	Unbeantwortete Fragen	32
8	Literaturverzeichnis	34
9	Verdankung	39
9.1	Erklärung	39
10	Curriculum vitae.....	40

1 Zusammenfassung

Ziel der Studie: Das Ziel der folgenden In-vitro-Studie war es die Dichtigkeit zweier verschiedener Versiegler vor sowie nach dem Bürsten zu untersuchen.

Material und Methode: An zwanzig menschlichen Zähnen wurde ein Zahnhalsdefekt imitiert. Mit Hilfe eines speziell dafür entwickelten Gerätes der Universität Zürich (Gas-Enhanced Permeation Test [GEPT], ein hydraulisches Messprinzip) wurde die Durchlässigkeit der Proben gemessen.

Der Zahnhalsdefekt wurde anschliessend bei zehn Proben mit Syntac Classic und bei zehn Proben mit Seal&Protect versiegelt. Wiederum wurden die Proben mit dem GEPT gemessen, um die Qualität der Versiegler (Dichtigkeit) zu beurteilen.

Die Proben wurden nun in der Bürstmaschine gebürstet. Erneut wurde nun die Dichtigkeit der Versiegler gemessen.

Zur Veranschaulichung wurden je zwei Proben beider Gruppen nach der Behandlungskette mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht.

Die Daten wurden mit dem t-Test statistisch ausgewertet ($p < 0.05$).

Resultate: Syntac Classic zeigte nach Versiegelung eine Zunahme der Dichtigkeit von 0.150 ± 0.068 hPa/min sowie eine erneute Abnahme nach Imitation von sieben tägigem Zahnbürsten von -0.119 ± 0.314 hPa/min. Seal&Protect zeigte nach Versiegelung ebenfalls eine Zunahme der Dichtigkeit von 0.132 ± 0.081 hPa/min sowie eine erneute Abnahme nach dem Bürsten von -0.043 ± 0.051 hPa/min. Die Änderung der Dichtigkeit von Syntac Classic und Seal&Protect unterschieden sich zu keinem der Messzeitpunkte signifikant.

Schlussfolgerung: Die beiden Agenzien Syntac Classic und Seal&Protect zeigen eine Reduktion der Dentindurchlässigkeit in vitro. Nach simulierter Belastung von einer Woche Zähne putzen nahm die Durchlässigkeit allerdings wieder zu.

2 Liste der verwendeten Abkürzungen

DHS	Dentinhypersensibilität
EtOH	Ethanol
GEPT	Gas-Enhanced Permeation Test
NaF	Natriumfluorid
PPK	Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
RDA	Relative Dentin Abrasivität
REM	Rasterelektronenmikroskop
SD	Standardabweichung
UZH	Universität Zürich

3 Einleitung

Viele Menschen kennen die lästigen Symptome von sensiblen Zahnhälsen. Die ziehenden und stechenden Schmerzen sind von kurzer Dauer und betreffen oft mehr als einen Zahn. Für Betroffene kann Trinken, Essen sowie Zähneputzen so schmerzhaft werden, dass Ihre mundgesundheitsbezogene Lebensqualität („oral health-related quality of life“) beeinflusst wird (1). Dieser Schmerz, der keinem anderen Krankheitsbild zugeordnet werden kann, wird als Dentinhypersensibilität (DHS) bezeichnet. Als Ursache hierfür werden erosive und abrasive Vorgänge, welche den Zahnschmelz abtragen und das Dentin freilegen, verantwortlich gemacht. Über die offenen Dentintubuli kann schliesslich der Nerv im Inneren des Zahnes stimuliert werden. Die Behandlungsoptionen der DHS reichen von lokalem Auftragen von Wirkstoffen, welche die Stimulation der Nerven oder die Durchgängigkeit der Dentintubuli vermindern, bis hin zur Wurzelkanalbehandlung.

Durch erosive oder abrasive Vorgänge kann der Schmelz des Zahnes abgetragen werden, so dass Dentin freigelegt wird. Anzunehmen ist, dass chemische oder physikalische Noxen zur Eröffnung der Dentintubuli führen (2). Die hydrodynamische Theorie besagt, dass es durch einen Reiz zu einer Flüssigkeitsbewegung des Dentinliquors in den Dentintubuli kommt, was die Nerven in der Pulpa stimuliert. Voraussetzung für eine DHS ist das Vorhandensein einer gingivalen Rezession sowie exponiertes Dentin. Kaltes windiges Wetter oder in der Zahnarztpraxis durch die Luft der Dreifachspritze führt zur Austrocknung der Dentinoberfläche, was vermutlich zu einer Zunahme der Flüssigkeitsströmung nach aussen führt. Auch kalte thermische oder osmotische Reize wie Zucker haben einen ähnlichen Effekt (3).

Es gibt verschiedene Therapien, um die Symptome der DHS zu lindern. Dazu stehen den betroffenen Personen Produkte zur Verfügung, welche zu Hause angewandt werden können, sowie Produkte oder Behandlungen, die in der Praxis durch den Zahnarzt durchgeführt werden. Es handelt sich um Produkte welche die Nervendesensibilisierung als Ziel der Behandlung haben, andere welche versuchen die Tubuli des Dentins zu verschliessen, so dass der Reiz nicht mehr stimuliert werden kann.

In dieser Arbeit wurden zwei verschiedene Versiegler, welche als Ziel die Tubulusokklusion haben, in Form einer In-Vitro-Studie untersucht. Die Dichtigkeit der Versiegler wurde vor sowie nach dem Bürsten an menschlichen Zähnen gemessen. Die Messungen wurden mit einem speziell dafür entwickelten Gerät der Universität Zürich (Gas-Enhanced Permeation Test [GEPT], ein hydraulisches Messprinzip) durchgeführt.

4 Literaturübersicht

4.1 Aufbau des menschlichen Zahnes

Mikromorphologisch besteht der menschliche Zahn aus Schmelz, Dentin, Wurzelzement und Pulpa. Die äusserste Schicht des Zahnes, was der einzigen klinischen sichtbaren Substanz entspricht, ist der Schmelz. Diese Substanz ist die härteste Substanz des menschlichen Körpers. Der Schmelz wird von den Ameloblasten gebildet. 98 Gewichtsprozent des Schmelzes besteht aus anorganischen Komponenten. Zusätzlich besteht der Schmelz aus Wasser und einem geringen Anteil an organischen Verbindungen. Der grösste Anteil des Zahnes bildet das Dentin. Das Dentin umgibt die Pulpa und wird koronal von Schmelz und apikal vom Zahnzement bedeckt (4). Gebildet wird das Dentin von den Odontoblasten, welche an der Pulpa-Dentin-Grenze liegen. Die Odontoblastenfortsätze liegen in Dentinkanälchen, sogenannten Tubuli, wo sie von Flüssigkeit und organischen Elementen umgeben sind. Das Dentin besteht zu 70 Gewichtsprozent aus anorganischem Material. 20 Gewichtsprozent sind organische Materialien, der restliche Anteil des Dentins ist Wasser. Die Wurzeloberfläche wird von dem Zement abgedeckt, welcher zur Verankerung des Zahnes beiträgt. Im Innern des Zahnes befindet sich die Pulpa, der Weichgewebekern. Die Pulpa besteht aus gut vaskularisiertem und innerviertem Bindegewebe. Die Pulpa ist für die Ernährung, Nozizeption sowie die lebenslange Bildung von Dentin zuständig.

4.2 Epidemiologie der Dentinhypersensibilität

Die Prävalenz der DHS wird in der Literatur mit einer sehr grossen Spannbreite von 3-98% angegeben (5, 6, 7). Bedenkt man, dass die Anzahl Personen, welche Zähne verlieren oder sogar ganz zahnlos sind, rückläufig ist, wird die Verbreitung der DHS in den kommenden Jahren vermutlich noch zunehmen. Alle Ethnien sind von der DHS gleichermassen betroffen (8), Frauen häufiger als Männer und dies vor allem in der zweiten bis vierten Lebensdekade (5). In höherem Lebensalter ist eine Abnahme der Überempfindlichkeit zu beobachten, da sich die Struktur des Dentins, durch vermehrtes Sekundärdentin, was die Durchlässigkeit des Dentins vermindert, verändert. Das vermehrte Auftreten bei Frauen wird durch eine, im Vergleich zu den Männern, bessere Mundhygiene und eine säurehaltigere Ernährung erklärt (9). Vermehrt zeigt sich DHS aber auch bei jüngeren Patienten, wobei man hierfür erosive Attacken durch saure Getränke oder Zahnaufhellungsprodukte verantwortlich macht. Auch nach Behandlungen von Parodontopathien, wie zum Beispiel Glättung einer Wurzeloberfläche, tritt die DHS gehäuft auf. Eckzähne, Prämolaren und erste Molaren sind am häufigsten von der DHS betroffen (10, 11).

4.3 Ätiologie und Pathogenese der Dentinhypersensibilität

Die DHS tritt dort auf, wo das Dentin durch Schmelzverlust und/oder Rezessionen der Gingiva freigelegt ist. Zu 90% sind Stellen an den zervikalen Rändern der bukkalen Seiten der Zähne von DHS betroffen. An diesen Stellen läuft der Schmelzmantel dünn aus und geht in das Wurzelzement über. Zusätzlich wird die Ausrichtung der Prismen im Vergleich zu der welligen Ausrichtung in der Krone immer flacher. Dadurch ist der Schmelz im cervikalen Bereich weniger hart und fest (12). Durch Erosion, Abrasion und Abfraktion wird die natürliche Schutzschicht des Dentins – Schmelz, Gingiva und Smear Layer beschädigt. Patienten mit DHS zeigen im Allgemeinen eine gute Mundhygiene und haben kaum Plaque. Oft ist aber zu beobachten, dass Patienten mit DHS eine falsche Putztechnik mit der Zahnbürste aufweisen. Beim Zähneputzen mit zu viel Kraft, zu häufigem Zähneputzen, zu groben Borsten der Zahnbürste sowie einer stark abrasiven Zahnpasta wird der Schmelzmantel ausgedünnt, bis er ganz verloren geht (9). Durch normales Zähneputzen hingegen kann der Schmelz quasi nicht abgenutzt werden, aber Rezessionen (Rückgang des Zahnfleisches) – in Westeuropa leiden 69-90% der Patienten an Rezessionen – können durchaus entstehen (13). So sind 70-90% aller überempfindlichen Zähne mit Parodontopathien assoziiert (7, 14, 15). Schliesslich wird der Smear Layer und der tubuläre Plug, die letzte Schutzschicht, welche Dentintubuli verschliessen, mechanisch durch die Zahnbürste, die abrasive Zahnpasta und/oder chemisch durch Säuren abgetragen (7, 16, 17), verdünnt und entkalkifiziert (18). Der Konsum saurer Getränke oder Früchte, Essstörungen oder gastroösophagealer Reflux erhöhen das Risiko für DHS, da sie mit einer erhöhten Exposition der Zähne mit Säuren assoziiert sind (19, 20). Tab. 1 zeigt eine Auflistung von Risikofaktoren für DHS. Der häufigste auslösende Faktor für eine Schmerzepisode der DHS ist Kälte, gefolgt von Zähneputzen, Hitze und Süssigkeiten (6).

Risikofaktoren für Dentinhypersensibilität
Schmelzverlust
Freiliegender Wurzelzement
Rezessionen der Gingiva
Attrition
Abrasion
Abfraktion
Erosion
Zahnfehlstellung
Dünnere Knochen oder Fenestrationsen
Parodontitis
Gewohnheiten der Patienten: falsche Putztechnik, Essgewohnheiten

Tab. 1: Verschiedene Risikofaktoren für DHS (21)

Lange ist man davon ausgegangen, dass Dentin von Nervenfasern innerviert wird. Mikroskopische Untersuchungen haben diese Theorie jedoch widerlegt. Die Nervenfasern penetrieren das Dentin nur minimal und tragen nicht die Hauptverantwortung für die Schmerzentstehung. Mikroskopische Untersuchungen zeigten auch, dass Odontoblasten keine Reize über Aktionspotenziale synaptisch an die Nervenendigungen weiterleiten können. Heute wird die Schmerzzinduktion durch die hydrodynamische Theorie erklärt. Bei normalen Bedingungen ist wegen des höheren Pulpainnendruckes im Vergleich zur Mundhöhle eine langsame Auswärtsbewegung der Flüssigkeit in den Dentinkanälchen zu beobachten (9). Durch äussere Reize werden Durchfluss und Druck in den Kanälchen verändert. Die Flüssigkeit fliesst bei Kühlung, Trocknung, Verdampfung sowie hypertonischen Chemikalien in der Mundhöhle von der Pulpa nach aussen weg. Wärme oder Sondierung hingegen führen zu einer Strömung zur Pulpa hin (22, 23, 24). Diese Veränderungen des Flusses werden von Mechanorezeptoren an Odontoblastenfortsätzen erkannt und schliesslich über myelinisierte A β - und A δ Fasern als Schmerz übermittelt. Diese Theorie von Stimulus induzierenden Flüssigkeitsverschiebungen als Ursache für die

DHS wurde von Gysi im Jahre 1900 erläutert und später durch Brännström 1936 bestätigt (21, 24, 25, 26).

Mikroskopische Untersuchungen zeigten, dass hypersensitive Zähne bis zu siebenmal mehr offene Tubuli als nicht sensitive Zähne aufweisen. Zusätzlich ist der Durchmesser der Tubuli bei sensitiven Zähnen bis zu achtmal grösser (Orchardson and. Gillam, 2006; (27). Die grösseren Durchmesser der Tubuli können, gemäss der Gleichung von Hagen-Poiseuille, zu einem deutlichen Flussanstieg führen, schliesslich verhält sich der Fluss durch ein Rohr proportional zur vierten Potenz des entsprechenden Radius. Die Schmerzstärke ist wiederum von der Flussmenge abhängig (10, 28).

4.4 Diagnose und Differentialdiagnose der Dentinhypersensibilität

Die DHS ist eine Ausschlussdiagnose und teils schwierig von anderen Pathologien zu unterscheiden, weshalb eine gute Anamnese und Untersuchung und anschliessendes Abarbeiten von möglichen Differentialdiagnosen ein Muss ist (29).

Die Tabelle 2 zeigt eine Auflistung von häufigen Differentialdiagnosen und ihren entsprechenden Untersuchungsmethoden.

Differentialdiagnosen	Untersuchungsmethode
„cracked tooth syndrome“	Schmerzen beim Beissen, lokal erhöhte Sondierungswerte
Inkorrekte Platzierung von Rekonstruktionen oder Nanoleckage	Röntgenbild und klinische Beurteilung
Postoperative Hypersensibilitäten, kürzlich getätigte Restaurationen, Zahnaufhellung	Abklärung eines zeitlichen Zusammenhangs
Frakturierte Restaurationen und falsch gesetzte Stifte	Röntgenbild, klinische Beurteilung
Mangel an Sorgfalt der Konturierung, sodass der Zahn in einer traumatischen Okklusion verbleibt	Okklusionskontrolle
Pulpa Reaktion auf Karies	Röntgenbild, klinische Beurteilung, Kaltlicht
Pathologische Furche und andere Schmelzinvaginationen oder Defekte	Klinische Beurteilung
Akute parodontale Infektion (NUG/NUP/Abszess)	Parodontale Untersuchung

Tab. 2: Differentialdiagnosen und zugehörige Untersuchungsmethoden zu DHS

4.5 Therapie der Dentinhypersensibilität

Es gibt verschiedene Therapieansätze und Möglichkeiten um den Schmerz sowie die stetige Nervenstimulation zu reduzieren. Trotzdem, dass eine konstante Nervenstimulation schädlich für den Nerv ist, sind Behandlungen nur bei Symptomen indiziert. Präventiv oder therapeutisch sollten Zahnbürsten mit weichen Borsten und Zahnpasten mit einem tiefen relativen-Dentin-Abrasivitäts-Wert (RDA) verwendet werden. Bis jetzt hat sich keine Behandlung, vor allem in Bezug auf eine befriedigenden Langzeitwirkung, als Goldstandard etabliert (29). Die initiale Behandlung sollte nicht invasiv, risikoarm, reversibel und kostengünstig sein. Hierfür bieten sich Therapien an, welche der Patient selbstständig zu Hause durchführen kann. Muss eskaliert werden, können intensivere oder auch invasivere Optionen im Rahmen einer Sprechstunde angewandt werden.

Als letzte Möglichkeit steht die Wurzelkanalbehandlung, wobei der Nerv des betroffenen Zahnes entfernt wird, zur Verfügung.

Nervendesensibilisierung

Bei der Nervendesensibilisierung versucht man das Membranpotential des Nervens so zu beeinflussen, dass die Reizübertragung verringert wird. Verschiedene Mittel wie zum Beispiel Strontiumchlorid, Kalium oder Calcium zeigen eine solche desensibilisierende Wirkung auf die Zähne. Diese Ionen gelangen gegen den Dentinstrom in die Nähe der Pulpa und lagern sich dort in hoher Konzentration ab. Eine Kaliumkonzentration von 8 mM ist notwendig, damit nach einigen Wochen eine Reduzierung des Schmerzes eintritt (24). Das elektrische Potential des Nervs wird so verändert – eine Depolarisierung –, dass der Nerv weniger empfindlich gegenüber dem Stimulus reagiert. Kalium ist einer der wichtigsten und häufigsten Mittel zur Desensibilisierung von Dentin (21). Die hohe extrazelluläre Kaliumkonzentration bewirkt eine starke Depolarisierung des Nerves, sodass die Reizschwelle deutlich, bis hin zur Blockade des Pulpanerves, ansteigt. Setzt man die Therapie ab wird das Kalium ausgespült und die Wirkung lässt wieder nach.

Es gibt inzwischen viele verschiedene Zahnpasten mit verschiedenen Inhaltsstoffen, welche eine desensibilisierende Wirkung zeigen. Die genauen Mechanismen und Vorgänge der Desensibilisierung werden hierbei zum Teil noch immer diskutiert.

Tubulusokklusion

Mit einem zweiten Behandlungsprinzip versucht man die Dentintubuli zu verschliessen. Sowohl chemisch (Fluoride, Zinn, Calcium-Phosphat-Silicate, Oxalate, Argining-Calcium-Carbonat, Nanohydroxyapatit, Glutaraldehyd) als auch mechanisch (Bimssteinpaste, Glasionomerzement, Dentinbonding und Komposit oder Lasertherapie) kann man die Tubuli verschliessen (24). Die Datenlage beruht vor allem auf In-vitro-Untersuchungen (30). Auch wenn nicht alle Tubuli verschlossen werden können, und diese auch nur teilweise, zeigt sich trotzdem eine Schmerzlinderung. Entscheidend ist, wie langanhaltend das Agens die Tubuli verschlossen hält. Einige werden innert Stunden wieder ausgewaschen, wieder andere können Säure nicht standhalten (21). Ein vielversprechendes Mittel ist Fluorid. Fluoridverbindungen verringern die Durchlässigkeit und reduzieren damit die Sensibilität (Orchardson and Gillam, 2006). Offenbar unterscheiden sich aber die verschiedenen in der Zahnmedizin verwendeten Fluoridverbindungen. Die Schwierigkeit bei Zinnfluorid besteht darin, zweiwertiges Zinnfluorid in einem Mundhygieneprodukt gegen Hydrolyse und Oxidation zu stabilisieren, ohne seine Bioverfügbarkeit herabzusetzen (31). So zeigt stabilisiertes Zinnfluorid eine signifikant deutlichere Schmerzreduktion als zum Beispiel natriumfluoridhaltige Mittel (32).

Mit Arginin hat man einen Stoff gefunden, welcher etwas zielgerichteter appliziert werden kann. Die positiv geladene Aminosäure Arginin bindet an das negativ geladene Dentin. Anschliessend lagern sich Calcium und Phosphat in den Tubuli ab und verhindern so die Bewegung des Dentinliquors (10). Arginin wird einerseits von der Zahnoberfläche angezogen, andererseits werden Calciumphosphatkomplexe an den gewünschten Ort befördert.

Auch konnte gezeigt werden, dass bioaktive Gläser gegen DHS verwendet werden können. Die darin enthaltenen Calcium-Natrium-Phosphosilikate setzen bei Kontakt mit Speichel Calcium und Phosphat frei, was zum Verschluss der Tubuli führen kann (10).

Die Behandlungsmethoden können sowohl durch den Patienten als auch durch den Zahnarzt angewendet werden.

Home-use Behandlungen

Die oben beschriebenen Behandlungsprinzipien kann der Patient selbstständig zu Hause durchführen, sofern sie einfach und nicht störend in ihrer Anwendung sind. Allerdings setzen sie eine gute Compliance und Geduld voraus, da die Wirkung oft erst nach einigen Tagen eintritt. Hier kommen vorwiegend Zahnpasten, -gels oder -spülungen zum Einsatz.

In-office Behandlungen

Auch in der Zahnarztpraxis können dieselben Behandlungsprinzipien zur Anwendung kommen. Allerdings können in diesem Umfeld stärkere Konzentrationen und gezieltere Applikationen zu einer rascheren und längeren Wirkung führen (Tab. 3).

Behandlungsprinzip In-Office
Dentinbonding
Komposit
Fluoridlack
NaF Iontophorese
Glutaraldehyd basierte Mittel
Remineralisierende Zemente
Laser Therapie (Verschmelzung des Dentins)
„Burnishing“ (Einbringen von 1/3 Natriumfluorid, 1/3 Kaolin und 1/3 Glycerin)

Tab. 3: Behandlungsmöglichkeiten für DHS In-Office

4.6 Forschung der Dentinhypersensibilität

Für die Messung der Behandlungseffektivität im Rahmen der Therapie von DHS wird oft das REM verwendet. Hierbei wird optisch untersucht, ob die Tubuli verschlossen sind. REM Aufnahmen liefern ein vornehmlich qualitatives Ergebnis. Oder die Durchlässigkeit wird mit der Methode der Farbpenetrationen („tracer“) untersucht. In anderen Studien, sowie auch in unserer Studie, wurde die hydraulische Leitfähigkeit der Tubuli als Surrogat für die DHS gemessen. In unserer Studie wurde die Durchlässigkeit der offenen und verschlossenen Tubuli physikalisch miteinander verglichen. Die Untersuchung mit dem REM oder der Farbpenetration sind quantitative oder semi-qualitative Messmethoden. Sie werden visuell ausgewertet und sind daher abhängig von der untersuchenden Person. Die Untersuchung mit der Flüssigkeits-Filtrations-Rate ist eine quantitative Methode und überwiegt gegenüber den anderen Methoden in ihrer Genauigkeit (33). Unser Messprinzip basiert auf der Gas Penetration. Es wird beobachtet, wie sich zwischen zwei Kammern, welche durch eine nicht vollständig dichte Struktur (in dieser Studie der Probenhalter mit dem befestigten Zahn) getrennt sind, die Druckverhältnisse in den Kammern verändern. Dazu verwenden wir den GEPT, welcher an der Universität Zürich entwickelt wurde und eine gut validierte quantitative Messmethode darstellt (34).

4.7 Fragestellung

In unserer Studie befassen wir uns mit der Frage, wie sich zwei verschiedene Versiegler in ihrer Eigenschaft und Beständigkeitseigenschaft untereinander unterscheiden. Zusätzlich wurde die Eigenschaft des einzelnen Versieglers untersucht und visualisiert. Dabei interessierte uns, wie die Dichtigkeit der Versiegler nach dem Auftragen sowie nach einer Woche Zähneputzen ist.

5 Material und Methoden

Die Dichtigkeit der verschlossenen Dentintubuli, einerseits mit Syntac Classic andererseits mit Seal&Protect, wurde in dieser Studie mittels GEPT untersucht.

5.1 Proben

Es wurden 20 extrahierte humane Oberkieferzähne verwendet (Abb. 1). Die Zähne wurden mit einem Gipstrimmer (Wassermann, HSS88, Typ 168998, Hamburg, Deutschland) in bukkolingualer Ausrichtung bis zur Eröffnung des Pulpakavums vertikal angeschliffen. Die so eröffneten Zähne wurden in einem Probehalter befestigt.

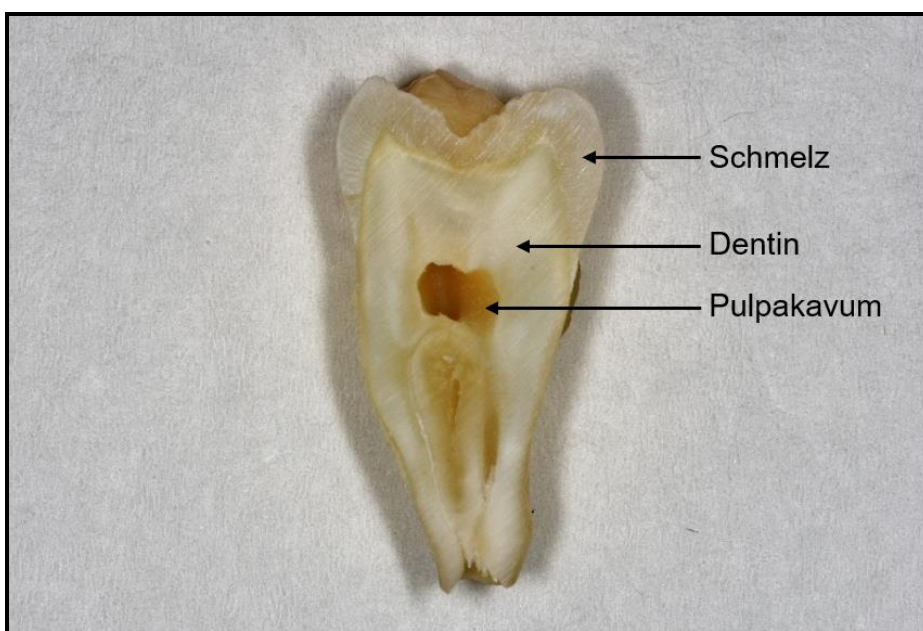


Abb. 1: Halbierter extrahierter humaner Oberkieferzahn

Die Probenhalter bestanden aus einem Polycarbonatring (Abb. 2).

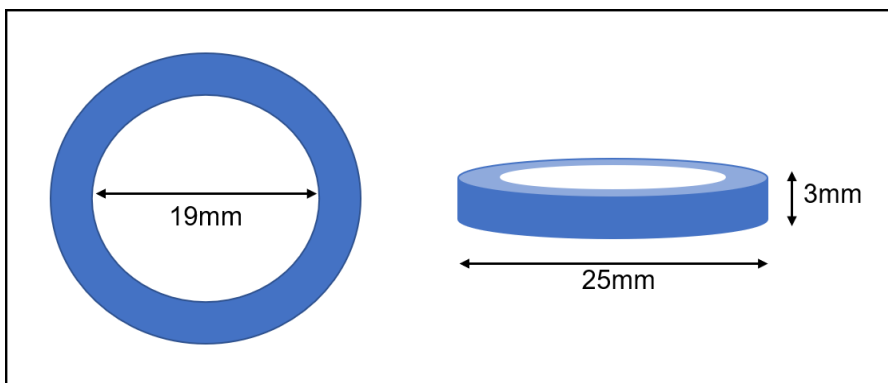


Abb. 2: Schematische Darstellung des Polycarbonatrings

Die Innenseite des Ringes und die Schleifkanten des Zahnes wurden zur Reinigung und Oberflächenvergrößerung mit 50 µm Aluminiumoxid (FG 3-82 sandmaster, Wülsag AG, Zofingen, Schweiz) sandgestrahlt und der Apex mit wenig Wachs (Utility Wax Strips, Diameter- 3/16 Inches, Length 11 inches, The Hygenic Corporation, Akron, Ohio 44310, USA) abgedichtet. Der Ring wurde auf einem Klebeband (tesafix® 4964 Montageband, Surey AG, Zollikofen, Schweiz) fixiert und der Zahn mit der abgeschliffenen Seite in der Mitte davon platziert (Abb. 3).

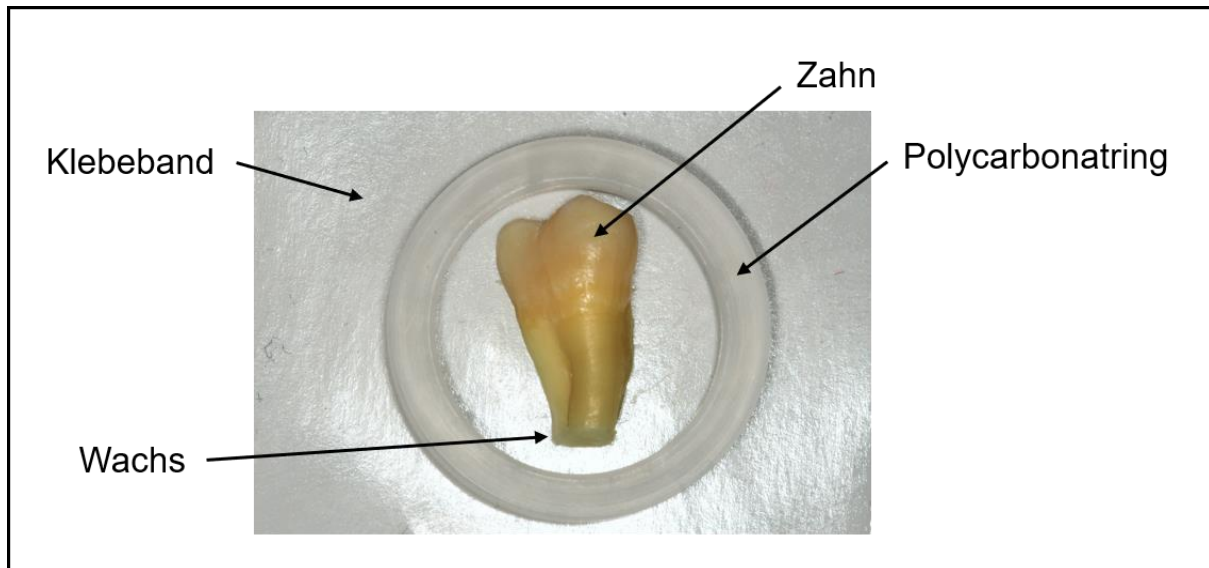


Abb. 3: Vorbereitung der Probenhalter

Die Schleifkante des Zahns wurde 30 s mit Phosphorsäure (Ultra-Etch 35% Phosphoric Acid, Ultradent Products Inc., Utah, USA) geätzt (Abb. 4). Die Phosphorsäure wurde nun mit fließendem Wasser abgespült. Um einen dichten Verbund zwischen Zahn und Ring zu erhalten wurde ein lichthärtendes Drei-Komponenten-Gelnagelsystem verwendet. Die Schleifkante und die Innenseite des Ringes wurden 30 s mit Bond (ibd, Prime, Bonder, American International Industries Los Angeles, CA, USA) konditioniert und 4 min lichtgehärtet (Spectramat, Ivoclar Vivadent Ag, Schaan, Liechtenstein). Anschliessend wurde der Raum zwischen dem Ring und dem Zahn inklusive Apex mit Gel (ibd, Strong, Builder Gel, Clear, American International Industries Los Angeles, CA, USA) aufgefüllt und für 4 min lichtgehärtet. Als letzter Schritt wurde die gesamte Oberfläche der Probe mit Sealer (ibd, Intense Seal, American International Industries Los Angeles, CA, USA) bepinselt und ebenfalls 4 min lichtgehärtet (Abb. 4).

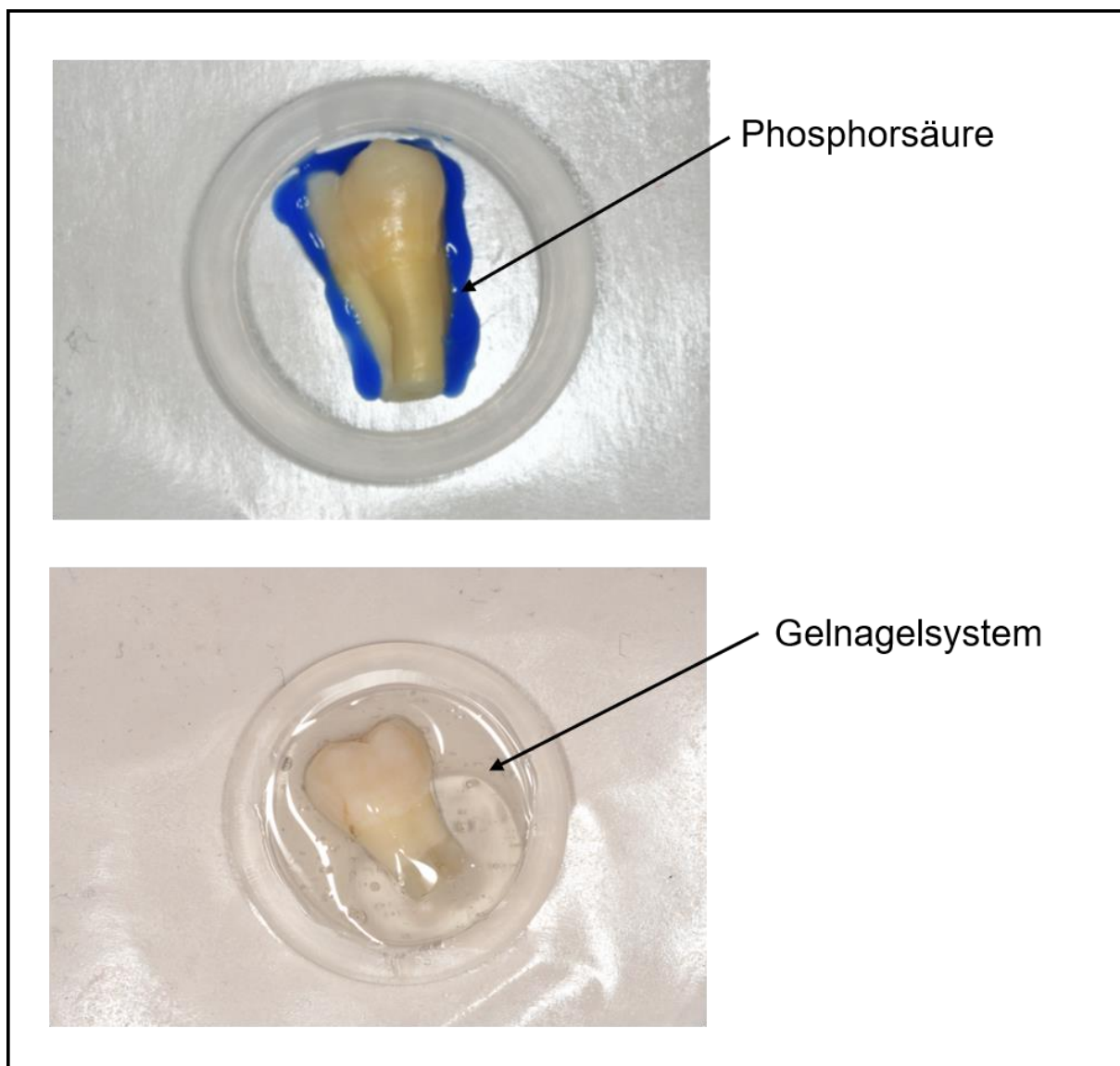


Abb. 4: Vorbereitung der Probenhalter

5.2 Messkammer

Zentral für die Versuchsanordnung war die Messkammer, welche aus einem hohlen, rostfreien Stahlzylinder (Aussendurchmesser 55 mm) bestand. Der Hohlraum teilte sich in einen unteren zylinderförmigen Anteil mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Höhe von 70 mm sowie einem oberen zylinderförmigen Anteil mit einem Durchmesser von 32 mm und einer Höhe von 25 mm auf. Bedingt durch den Kalibersprung bestand ein Absatz von 6 mm Breite, auf welchem die scheibenförmigen Proben zu liegen kamen (Abb. 5). Nach Einbringen der Probe wurde der Deckel des Zylinders mit vier Schrauben dicht verschlossen. Über diesen Deckel war ein Schlauchsystem zur Regulierung des Drucks in der oberen Kammer angebracht. Die untere Kammer wurde über ein Ventil an der Zylinderseite reguliert. Zur Wahrung einer konstanten Temperatur war die Messkammer von einem 35° C warmen Wasserbad umgeben und die ganze Messvorrichtung war wiederum in einer grossen Experimentenbox untergebracht, in welcher konstante 31° C herrschten (Abb. 6). Damit kontrollierten wir die Anfälligkeit der Druckverhältnisse auf kleine Temperaturschwankungen (vergleiche allgemeine Gasgleichung).

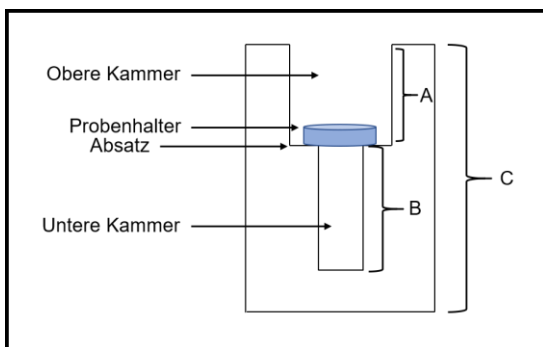


Abb. 5: Schematische Darstellung des Kammersystems, Höhe der Kammern; A= 10 mm, B= 75 mm, C= 85 mm

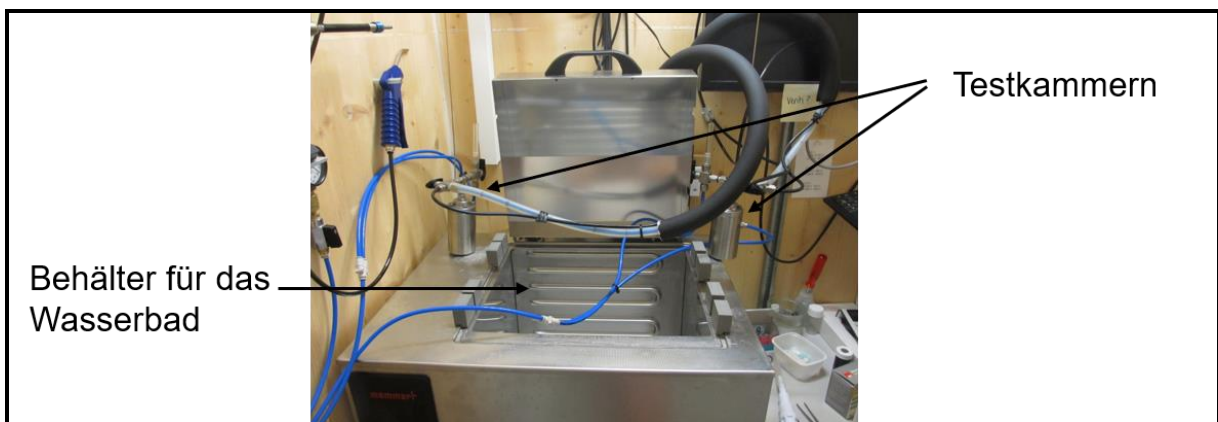


Abb. 6: Testkammern und Behälter für das Wasserbad

5.3 Messprinzip

Über das Schlauchsystem wurde in der unteren Kammer ein negativer Druck von 800 hPa und in der oberen Kammer ein positiver Druck von 1035 hPa erzeugt, was einer absoluten Differenz von 1835 hPa entsprach. Zusätzlich wurde in die obere Kammer 2 ml deionisiertes Wasser eingebracht. Anschliessend wurde während 40 min der Druck (P) in beiden Kammern mit dem Messgerät Testo 526 (Testo 526, Testo AG, Lenzkirch, Deutschland) mit einer Messfrequenz von 60/min erfasst. Die Messpunkte wurden als Graph *Druck über Zeit* mit der Software (V 4.2 SP2, Testo AG, Deutschland) aufgezeichnet. Nach 20 min wurde ein Steady State erreicht. Die anschliessende Kurve wurde als Repräsentation der Durchlässigkeit erachtet. Die Steigung (m) der Kurve beschreibt die Veränderung des Druckes (P) über die Zeit (t) (35).

$$\text{Steigung } \left(\frac{\text{hPa}}{\text{min}} \right) : m = \frac{P2 - P1}{t2 - t1} = \frac{\Delta P}{\Delta T}$$

P1: Druck zum Zeitpunkt T1

P2: Druck zum Zeitpunkt T2

T1: Zeitpunkt 20 Minuten

T2: Zeitpunkt 40 Minuten

5.4 Messvorgang

Ein Tampon (o.b., pro comfort, mini, Johnson & Johnson GmbH, Wuppertal-Heckinghausen, Deutschland) wurde in die untere Kammer eingebracht, um Wasser daran zu hindern in das Schlauchsystem einzudringen. Bei geöffnetem Zylinder platzierten wir die Probe mit nach oben gerichtetem Zahn mittig auf den Absatz. Zur Abdichtung der Probe und des Testkammerzylinders diente ein lubrifizierter Gummi-O-Ring (Molykote 111 compound, DOW Corning GMBH, Deutschland) aus Silikon. Dessen äusserer Durchmesser von 32 mm entsprach dem Zylinderinnendurchmesser und der innere Durchmesser von 25 mm dem Durchmesser unserer Probe. Dadurch wurde der Hohlraum des Testzylinders in zwei voneinander verschlossene Kammern geteilt. Die einzigen möglichen Verbindungen zwischen den beiden Kammern waren undichte Stellen zwischen dem Gummi-O-Ring und der Probe sowie Undichtigkeiten innerhalb der Probe. Anschliessend wurde die Testkammer dicht verschlossen.

Von jeder Probe wurde zur Bestimmung der Dichtigkeit eine Grundmessung (Messung 1) durchgeführt. Danach wurde mit Hilfe einer selbst hergestellten Silikonkautschukringschablone mit einem Innendurchmesser von 5 mm einen Kreis auf der Zahnoberfläche eingezeichnet. Der Kreis wurde so platziert, dass die Schmelz-Zement-Grenze mittig lag (Abb. 7). Dieses Areal wurde mit einem Diamantbohrer (Diamanten intensiv, Intensiv No. 8614, ISO No. 314158, DemaDent, Bassersdorf, Schweiz) bis Erreichen des Dentins 1-2 mm tief ausgebohrt. Die Kanten des Defekts wurden mit dem Diamanten (Diamanten intensiv, Intensiv No. 8255, ISO No. 314257, DemaDent, Bassersdorf, Schweiz) abgerundet und das Areal für 30 sek mit Phosphorsäure (Ultra-Etch 35% Phosphoric Acid, Ultradent Products Inc., Utah, USA) zwecks Entfernung der Smearlayer, geätzt. Die Dichtigkeit des so imitierten Zahnhalsdefektes (Abb. 7) wurde nun erneut gemessen (Messung 2).

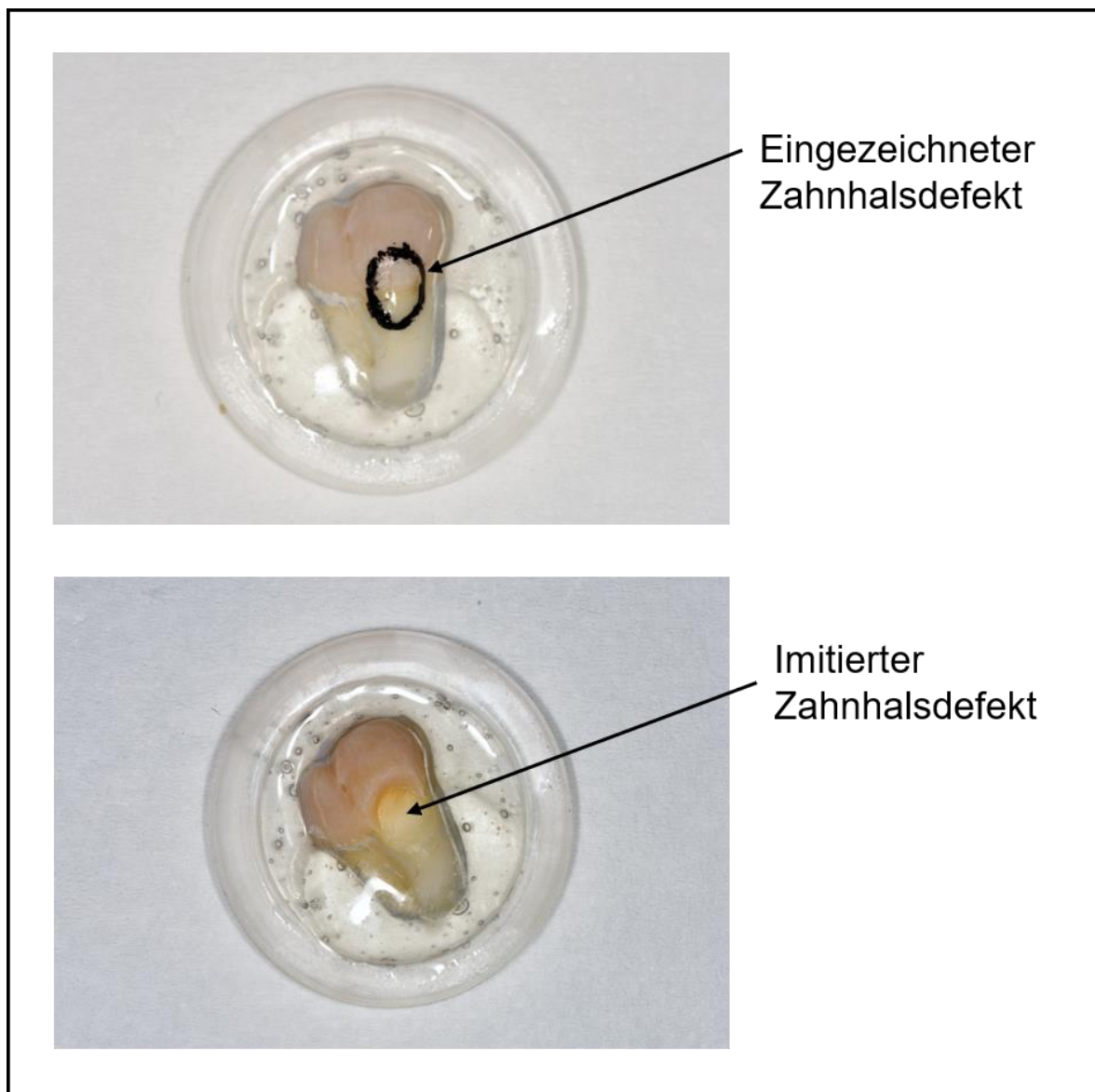


Abb. 7: Vorgehen, um den Zahnhalsdefekt zu imitieren

Die zwanzig Proben wurden randomisiert in zwei gleich grosse Gruppen eingeteilt. Der Zahnhalsdefekt wurde bei zehn Proben mit Syntac Classic und bei den anderen zehn Proben mit Seal&Protect behandelt.

Der Versiegler wurde unter Imitation eines Pulpadruckes aufgebracht. Weil im Gegensatz zum Zahn in vivo in unserer Versuchsanordnung kein natürlicher Pulpadruck herrschte, bestand die Gefahr einer stärkeren Penetration des Versieglers über die Tubuli in den Zahn. Deshalb imitierten wir den Pulpadruck mit Hilfe eines Wasserdrucksystems. Ein über einen Schlauch mit einer Wassersäule verbundener Zylinder diente als Druckkammer. Die Proben wurden mit der Pulpa nach unten mittels zwei stahlverzinkter Unterlagscheiben und einem Silikonring dicht in den Verschlussdeckel des Zylinders (Versandbehälter, Semadeni, Ostermundigen, Schweiz) platziert (Abb. 8 und Abb. 9). Der Wasserdruck im Zylinder wirkte so direkt auf die eröffnete Pulpa und konnte mit der Wassersäule reguliert werden. Der Höhenunterschied zwischen Probe und Wassersäule wurde auf 35 cm festgelegt, womit ein Druck von $35 \text{ cmH}_2\text{O} = 3.43 \text{ kPa} = 25.7 \text{ mmHg}$ in der eröffneten Pulpa herrschte. Der Druck einer gesunden Pulpa beträgt je nach Studie zwischen 16.3 mmHg bis 57 mmHg (36, 37, 38, 39).

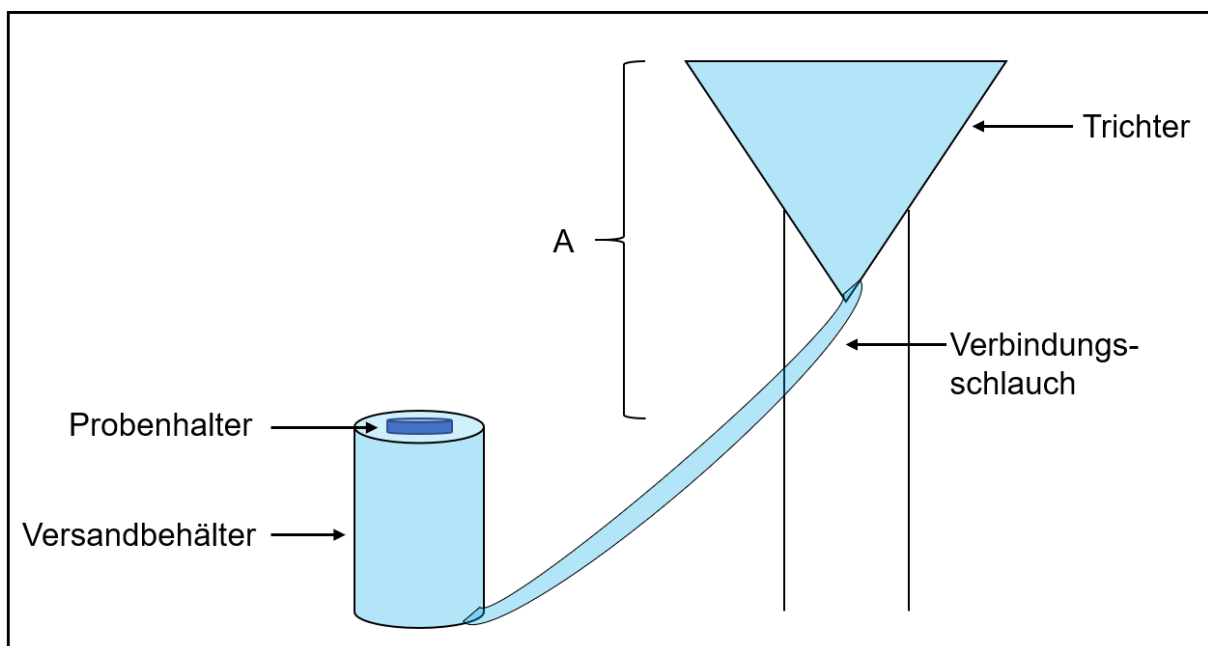


Abb. 8: Schematische Darstellung des Wasserdrucksystems, A: Höhenunterschied von 35 cm.
Trichter, Schlauch sowie der Zylinder sind mit Wasser gefüllt

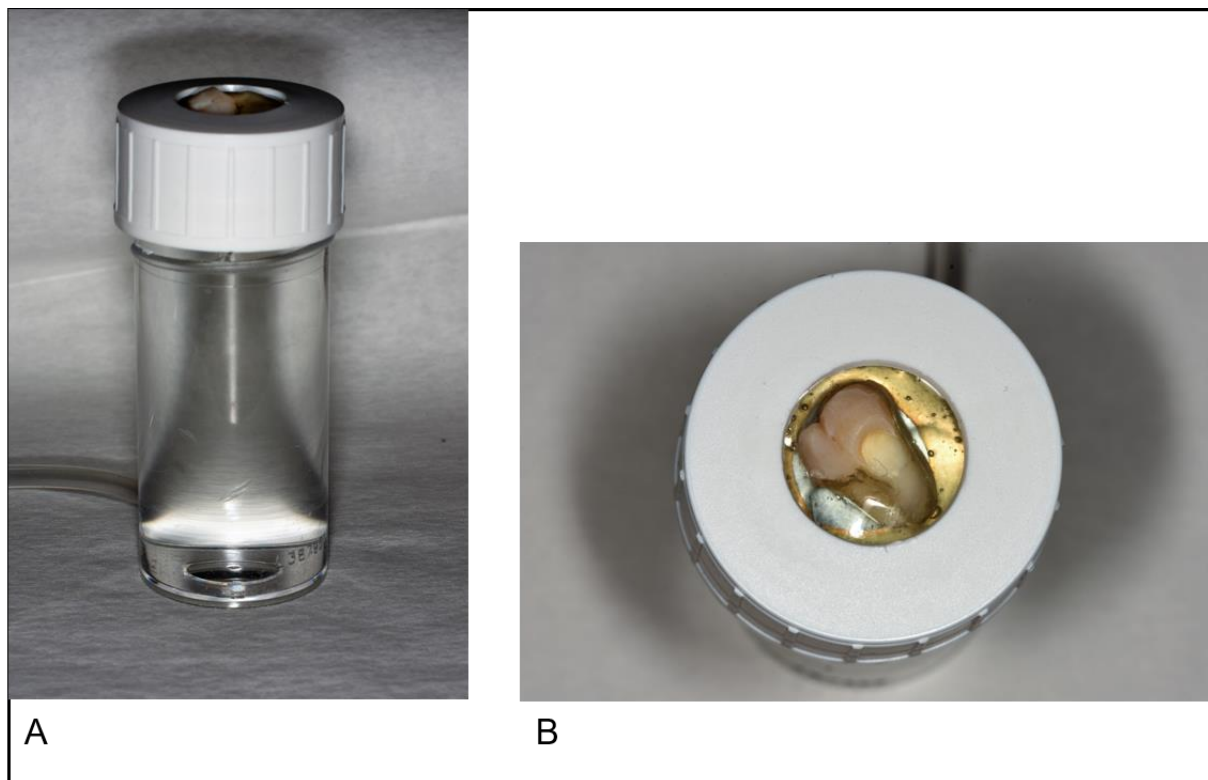


Abb. 9: Wasserdrucksystem, A: Versandbehälter Ansicht von der Seite B: Zylinder Ansicht von oben

Unter diesen Druckverhältnissen wurden die imitierten Zahnhalsdefekte entweder mit Syntac Classic (ivoclar vivadent AG, Schaan, Lichtenstein) oder mit Seal&Protect (DENTSPLY DeTrey, GmbH, Konstanz, Deutschland) jeweils nach Anweisungen des Herstellers behandelt. Jede Probe wurde unmittelbar nach der Anwendung des Versieglers erneut mit dem GEPT gemessen (Messung 3).

5.5 Abrasion

Um zu überprüfen, ob die beiden Versiegler für sensible Zähne auch nach einer Woche Zähneputzen noch dicht sind, wurden die Proben mit der an der Universität Zürich entwickelten Bürstmaschine (Abb. 10a) behandelt. Die Parameter der Bürstmaschine wurden gemäss Wiegand & Attin eingestellt (40). Die Bürstenköpfe wurden parallel zum Boden der Schiffchen mit einer Kraft von 2 N ausgerichtet (Abb. 10b und c). Die Maschine wurde auf eine Geschwindigkeit von 60 Zyklen pro min eingestellt. Ein Messdurchgang dauerte 105 sek, was der durchschnittlichen Zahnputzbelastung für einen Zahn pro Woche entspricht. Pro Durchgang konnte eine Probe in einem Schiffchen platziert werden. Als Zahnbürste wurde das Modell paroM43 (paro, Esro AG, Kilchberg, Schweiz) verwendet. Die Schiffchen und Bürsten wurden nach jedem Durchgang gereinigt.

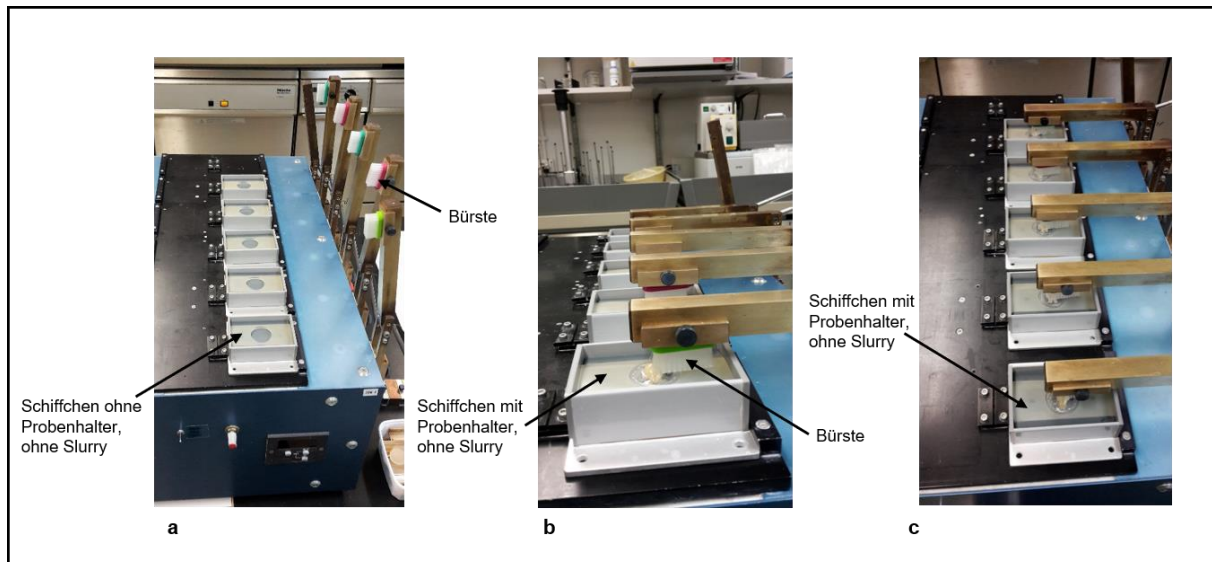


Abb. 10: Bürstmaschine, a: Leere Schiffchen ohne Probenhalter, b & c: Probenhalter und Bürsten platziert ohne Slurry

In jedes Schiffchen wurde 15 g Slurry aufgefüllt, womit die Proben ganz bedeckt waren. Das Slurry setzte sich aus 10 g Speichellersatz (Labor PPK UZH, Zusammensetzung siehe Tab.4) 7 Tropfen Silicon-Antifoam (Silikon-Antischaummittel, pH: 7,4) und 5 g Zahnpasta (Colgate Total, Colgate-Palmolive, Therwil, Schweiz) zusammen. Diese Zahnpasta weist einen pH von 6.9 und eine RDA Wert von 121 ± 7 auf und gehört damit zu den stark abrasiven Zahnpasten (41).

Stammlösung 2x konzentriert	
Kaliumchlorid	2.4 g
Natriumchlorid	1.7 g
Magnesiumchlorid	0.1 g
Kalziumchlorid	0.2 g
Kaliumthiocyanat	0.2 g
Kaliumdihydrogenphosphat	0.7 g
Borsäure	0.1 g
Bidestiliertes Wasser ad	1000.0 ml
Natriumhydrogenkarbonat 1,62%	
Natriumbikarbonat	16.2 g
Bidestiliertes Wasser ad	1000.0 ml
Speichellersatz 1x konzentriert	
Speichellersatz-Stammlösung (2x konz.)	521 ml
Bidestiliertes Wasser	521 ml
Natriumbikarbonat (1.62%)	135 ml

Tab. 4: Zusammensetzung des Speichellersatzes

ad = auffüllen bis
konz. = konzentriert

Die Bürsten übten eine Kraft von 2 N auf die Proben aus, diese wurde vor jedem Durchgang neu, mittels einer Federwaage, gemessen.

Anschliessend wurde die Dichtigkeit alle Proben mit dem GEPT erneut gemessen, um die Dichtigkeit nach der Abrasion zu bestimmen (Messung 4).

5.6 Rasterelektronenmikroskop

Je zwei Proben aus beiden Versieglergruppen mit ähnlich gemessener Durchlässigkeit wurden mit dem REM (Zeiss Supra 50VP, Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland) untersucht. Die Proben wurden wie folgt entwässert (Alkoholreihe).

2-mal in 50% Ethanol (EtOH) für 15 min

2-mal in 70% EtOH für 15 min

2-mal in 80% EtOH für 15 min

2-mal in 90% EtOH für 15min

3-mal in 94% EtOH für 20 min

2-mal in 100% EtOH für 60 min

Die Proben wurden mit Hilfe eines Beschichtungsgerätes (CCU-010 Compact Coating Unit, sefematic GmbH, Bad Ragaz, Schweiz) mit Platinum besputtert (8 nm, 30 mA).

Mit dem REM erfolgte die Bildherstellung. Alle Aufnahmen wurde mit 10kV Spannung, einer auf 30 µm eingestellten Aperturblende und ohne Kippwinkel aufgenommen. Als Signal für die Topographiedarstellung diente die Sekundärelektronen.

5.7 Ethik

Um diese Studie durchführen zu können, wurden extrahierte humane Zähne verwendet. Die Zähne wurden aus orthodontischen oder parodontologischen Gründen in den Kliniken des Zentrums für Zahnmedizin in Zürich extrahiert. Der Behandlungsentscheid wurde nicht durch die Studie beeinflusst. Die Patienten willigten schriftlich ein, dass ihre Zähne zu Forschungszwecken weiterverwendet werden dürfen. Alle extrahierten Zähne wurden anonymisiert und in einer jeweils anderen Klinik des Zentrums für Zahnmedizin in einem Gefäss gelagert. Die Probenherstellung erfolgte im Labor der Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie. Die Anonymisierung der Zähne blieb gewahrt und ein Rückschluss von den Zähnen auf die Patienten war nicht möglich. Nach Art. 2 Abs. 2 § des Humanforschungsgesetzes findet dieses bei anonymisiertem biologischem Material keine Anwendung, weshalb kein Ethikkommissionsantrag gestellt werden musste.

5.8 Statistische Auswertung

Die ersten Resultate entsprechen den Messungen der unbehandelten Proben. Die zweiten Resultate sind von den Messungen mit dem imitierten Zahnhalsdefekt. Danach folgen die Resultate der versiegelten Proben sowie die Resultate der gebürsteten Proben. Dabei wurde jeweils der Druck nach 20 Minuten von dem Druck nach 40 Minuten subtrahiert und das Ergebnis durch 20 dividiert. Was dann dem Druck pro Zeit entspricht. Um die verschiedenen Werte zu Vergleichen, wurden die Differenzen berechnet. Die Resultate nach dem Bohren wurden von den Resultaten nach der Versiegelung abgezogen und die Resultate nach dem Versiegeln wurden von den Resultaten nach dem Bürsten abgezogen.

Die Analyse der Daten erfolgte mittels SPSS Version 25 (IBM, Armonk, New York, USA). Die Darstellung der parameterischen Daten zeigt deren Mittelwert und Standardabweichung. Zusätzlich wurde der entsprechende t-Test für verbundene und unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Ergebnisse der statistischen Analyse mit einem p-Wert < 0.05 wurden als statistisch signifikant interpretiert.

Nach jedem Behandlungsschritt wurde die Durchlässigkeit nach dem oben beschriebenen Messprinzip bestimmt. Innerhalb der Behandlungsgruppen wurden diese Stufen mit dem t-test für verbundene Stichproben untersucht. Zwecks Vergleiches der beiden Versiegler wurde die durchschnittliche Differenz der beiden Behandlungsgruppen zwischen zwei Behandlungsschritten mit dem t-test für unverbundene Stichproben verglichen.

6 Resultate

6.1 Dichtigkeit

In dieser Studie wurde die Dichtigkeit mit dem GEPT überprüft. Es wurden insgesamt vier Messdurchgänge durchgeführt. Die erste Messung untersuchte die unbehandelten Proben. Die zweite Messung wurde nach der Bohrung (Imitation des Zahnhalsdefekts) gemacht. Die dritte Messung wurde nach dem Versiegeln und die letzte Messung nach dem Bürsten durchgeführt. Mit dem GEPT wurde die Druckveränderung über Zeit zwischen der 20. und 40. Minute gemessen.

Die Resultate in der untenstehenden Grafik entsprechen Differenzen. Die Werte nach dem Versiegeln entsprechen der Differenz von den Resultaten nach Versiegelung und den Resultaten nach dem Bohren. Die Werte nach dem Bürsten entsprechen der Differenz von den Resultaten nach dem Bürsten und den Resultaten nach dem Versiegeln.

Somit wurden die Werte nach dem Bohren von den Werten nach der Versiegelung abgezogen und die Werte nach dem Versiegeln von den Werten nach dem Bürsten abgezogen.

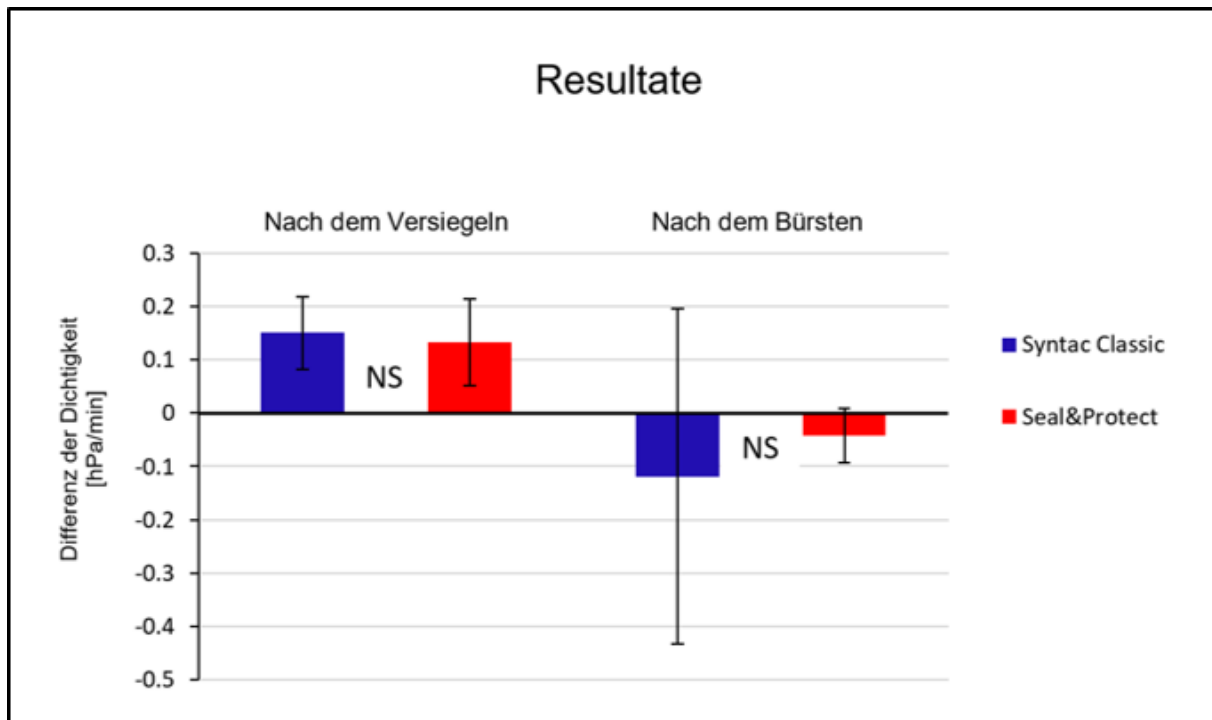


Abb. 11: Differenzen der Dichtigkeit der zwei untersuchten Produkte nach Versiegelung und Zahnputzimitation (nach dem Bürsten).

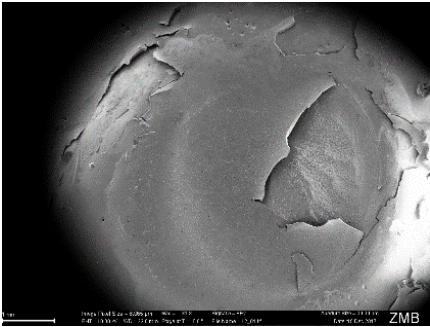
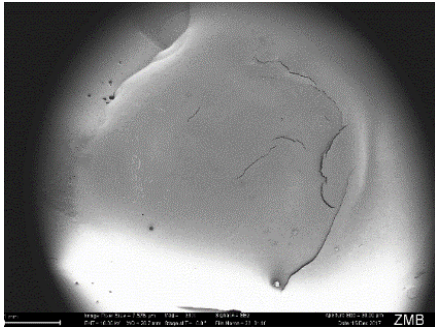
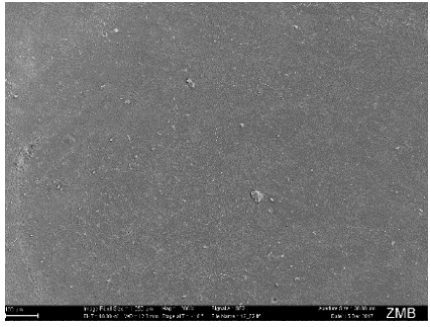
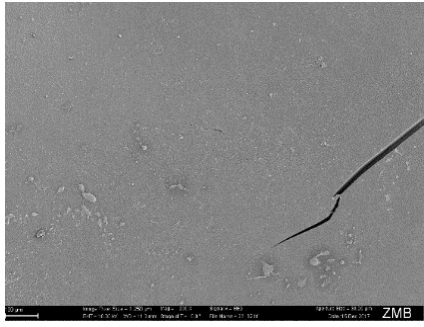
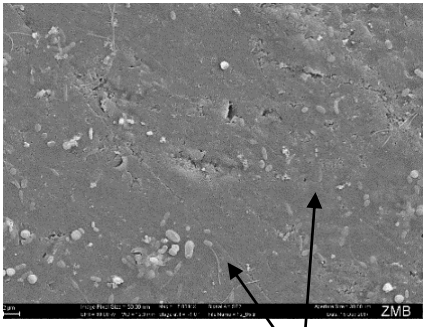
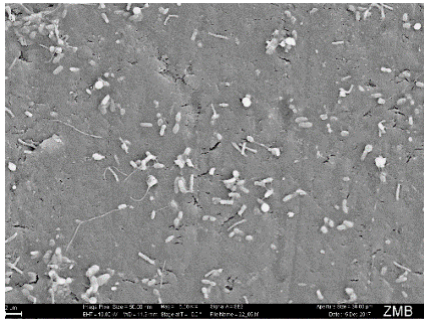
Positive Werte bedeuten eine Zunahme der Dichtigkeit (Abnahme der Durchlässigkeit) wohingegen negative Werte eine Abnahme der Dichtigkeit (Zunahme der Durchlässigkeit) bedeuten.

Werte für die zwei verschiedenen Produkte gemessen zum selben Zeitpunkt („nach dem Versiegeln“ oder „nach dem Bürsten“) welche sich nicht signifikant unterscheiden sind mit „NS“ gekennzeichnet.

Syntac Classic und Seal&Protect zeigen in ihrer Eigenschaft der Versiegelung und der Beständigkeit der Versiegelung keinen signifikanten Unterschied. Die Dichtigkeit nimmt zwischen der Messung nach dem Anbringen des Zahnhalsdefektes (Messung 2) und nach dem Versiegeln (Messung 3) zu. Dieses bedeutet, dass die Durchlässigkeit des Dentins durch die Applikation des Versieglers abnimmt. Die Durchlässigkeit der Proben nimmt durch das Bürsten wieder zu, was gleichzeitig bedeutet, dass die Dichtigkeit der Versiegler durch das Bürsten abnimmt.

6.2 Visualisierung mit dem Rasterelektronenmikroskop

Zur visuellen Veranschaulichung wurden je zwei Proben aus beiden Behandlungsgruppen mit dem REM untersucht. In der untenstehenden Tabelle 5 sind je eine Probe aus Syntac Classic und Seal&Protect nach der Versiegelung und nach dem Bürsten dargestellt. Die beiden Proben zeigten bei den Messungen ähnliche Durchlässigkeiten. Beide Proben zeigten eine homogene Schicht des Versieglers mit Nachweis der Bürstenstriche sowie verschiedene Bruchstellen und lokale Defekte.

Syntac Classic	Seal&Protect
 <p>Vergrosserung 32x Übersicht der ganzen Kavität. Bei 3 Uhr grosser abgebrochener Teil des Versieglers mit Freilegung des Dentins. Ansonsten homogen.</p>	 <p>Vergrosserung 32x Übersicht, sieht eigentlich relativ dicht aus jedoch grosse Risse im rechten Bereich.</p>
 <p>Vergrosserung 200x Vergrosserung des mittleren Bereiches, sehr wenig Porosität sichtbar.</p>	 <p>Vergrosserung 200x Vergrosserung des mittleren Bereiches, dichte Struktur abgesehen vom Spalt im rechten Bereich.</p>
 <p>Vergrosserung 5.00kx Zoom des letzten Bildes, Bürstenstriche erkennbar.</p>	 <p>Vergrosserung 5.00kx Dichte, relativ homogene Struktur</p>

Tab. 5: REM Untersuchung bei Vergrösserung 32x, 200x und 5.00kx, von je einer Probe aus Syntac Classic und Seal&Protect

7 Diskussion

7.1 Wichtigste Resultate

Beide in der Studie verwendeten Versiegler reduzierten die Durchlässigkeit nach Versiegelung. Nach dem Bürsten nahm die Durchlässigkeit wieder zu, aber zeigte immer noch eine Restversiegelung. Auffällig war, dass bei Syntac Classic diese Restversiegelung deutlich schlechter war als bei Seal&Protect, was wir auf die zwei Ausreisser zurückführten. Dennoch zeigte sich in der durchschnittlichen Veränderung nach dem Versiegeln und nach dem Bürsten kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden getesteten Materialien.

Die mit dem REM nach dem Bürsten untersuchten Proben zeigten den Versiegler mit verschiedenen Defekten und Abbrüchen, was wir als Ursache für die Abnahme der Durchlässigkeit nach dem Bürsten erachteten.

In andere Studien konnte gezeigt werden, dass Seal&Protect eine ähnliche Wirkung wie in unserer Studie hat (42, 43, 44).

In unserer Studie wurden zwei lichthärtende Agenzien untersucht. Andere Agenzien zur Desensibilisierung, die zum Beispiel Fluorid freisetzen oder Proteine ausfällen, zeigen eine grössere Dentindurchlässigkeit als lichthärtende Agenzien (43).

7.2 Die Untersuchungsmethode

Bis jetzt hat sich kein Goldstandard für die Messung von Dentinhypersensitivität etabliert (29, 45).

Der GEPT ist eine schnelle, quantitative und wiederholbare Messmethode für In-vitro-Studien, welche auch kleinste Änderungen der Durchlässigkeit aufzeigen kann (34). Für diese neuere Messmethode existieren erst wenige Vergleichsstudien. Mit der Methode wurden bereits Studie zur Dichtigkeit des Implantat-Abutment-Interface, Restaurationen sowie zu Wurzelfüllungen durchgeführt. Ein Nachteil des GEPT ist sicherlich, dass es eine gewisse Zeit benötigt, bis man den GEPT sicher und korrekt bedienen kann, da dieser sehr anfällig auf minimale Umgebungsveränderungen ist.

Auch andere In-vitro-Studien untersuchten Versiegler mit der Methode der hydraulischen Leitfähigkeit z.B. die „computerized fluid filtration method“ (33, 46, 47). Oder man versuchte mit Hilfe von optischen Methoden (Varianten des REM, wie zum Beispiel das Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop oder das „environmental scanning electron microscop“) Änderungen am Dentin nachzuweisen (47, 48, 49).

7.3 Stärken und Limitationen der Studie

In der vorliegenden Studie handelt es sich um ein In-vitro-Design. Durch das Verwenden von humanen Zähnen ist das Ergebnis besser auf die Klinik extrapolierbar, als wenn Zähne tierischen Ursprungs verwendet worden wären.

Natürlich werden so physiologische intraorale Faktoren nicht miteinbezogen. Für eine effiziente Haftung der Agenzien bedarf es einer Trockenlegung des Zahnes, was in vivo ungemein schwieriger ist. Die Abnutzung der Versiegler beschränkte sich auf die mechanische Belastung durch das Bürsten mit Slurry. Ess-, Trink- sowie Putzgewohnheiten (Kauen, Säuren, weiche oder harte Zahnbürsten, Kraft die angewendet wird) wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die Studie sagt zusätzlich nichts über das subjektive Schmerzempfinden der Patienten aus.

Der RDA-Wert der Colgate Total Zahnpasta, mit welcher das Slurry hergestellt wurde, beträgt 120 und ist damit sehr hoch (41). Wird eine Zahnpasta mit einem sehr hohen RDA verwendet, wird angenommen, dass mehr von dem Versiegler wie auch der Zahnhartsubstanz abgetragen wird. Somit stellte die hier verwendete Versuchsanordnung eine eher starke Belastung für den Versiegler dar.

Die Untersuchungsmethode beruht auf der allgemeinen Gasgleichung, was die hohe Anfälligkeit der Messvorrichtung auf Temperaturunterschiede erklärt. So wurde gezeigt, dass die Durchlässigkeit mit höherer Temperatur zunimmt (50, 51). Um diesem Schwachpunkt entgegen zu wirken, befindet sich die Versuchsanordnung in einem Wasserbad mit konstanter Temperatur. Das Wasserbad findet sich wiederum in einer Experimentenbox mit ebenfalls konstanter Temperatur. Die Experimentenbox wurde während den Messungen nicht geöffnet. Die Beleuchtung der Experimentenbox wurde ebenfalls konstant gehalten. Die Temperatur des Wasserbades mit 35 °C entspricht ungefähr der Mundtemperatur.

7.4 Bedeutung der Studie

Es konnte gezeigt werden, dass eine Versiegelung mit beiden Mitteln entsteht, diese jedoch bereits nach einer Woche Zähne putzen wieder abnimmt.

7.5 Unbeantwortete Fragen

Diese Studie ergibt keine Ergebnisse über das subjektive Empfinden von Patienten, welche unter DHS leiden. So besteht die Möglichkeit, dass der Versiegler nach einer Woche Zähne putzen bereits an Dichtigkeit verliert, aber immer noch schmerzreduzierend wirkt. Daher wäre es nun interessant klinisch zu untersuchen, wieviel Versiegler es benötigt, um eine Schmerzreduktion zu erreichen.

Mit dem REM sollten bei weiteren Studien auch die Proben nach dem Versiegeln untersucht werden. Hierbei stellt sich auch die Frage, wie tief die Versiegler in die Tubuli eindringen, ob dies von Bedeutung ist und ob die Schichtdicke essentiell ist.

In einer weiteren Studie sollten grössere Gruppengrössen gewählt werden, um unsere zwei Ausreisser bei Syntac Classic zu evaluieren.

Bei der Studie stellt sich die Frage, ob die Imitation des Zahnhalsdefekts wirklich mit dem physiologischen Zahnhalsdefekts gleichzusetzen ist.

Zusätzlich ist zu untersuchen, wie unterschiedlich ein Pulpadruck sein kann, und wie diese die Dichtigkeit beziehungsweise das Auftragen der Agenzien beeinflusst.

7.6 Zusammenfassung

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde die Wirkung und Beständigkeit von zwei Versiegler, Syntac Classic und Seal&Protect zur Behandlung von DHS untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass beide Versiegler die Durchlässigkeit des Dentins verringern. Diese Versiegelung verringert sich jedoch nach einer Woche bürsten. Das bedeutet, dass die Durchlässigkeit des Dentins zunimmt, bzw. die Dichtigkeit der Versiegler abnimmt. Eine Restversiegelung bleibt jedoch bei beiden Agenzien vorhanden.

8 Literaturverzeichnis

1. Goh V, Corbet EF, Leung WK.:
Impact of dentine hypersensitivity on oral health-related quality of life in individuals receiving supportive periodontal care.
J Clin Periodontol. 2016;43:595-602.
2. Hellwig E, Klimek J, Attin A.:
Einführung in die Zahnerhaltung.
6. überarbeitete Aufl. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013.
3. West NX, Lussi A, Seong J, Hellwig E.:
Dentin hypersensitivity: pain mechanisms and aetiology of exposed cervical dentin.
Clin Oral Investig. 2013;17:9-19.
4. Schroeder H.:
Orale Strukturbioogie Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks.
5. unveränderte Aufl. Stuttgart: Thieme; 2000.
5. Splieth CH, Tachou A.:
Epidemiology of dentin hypersensitivity.
Clin Oral Investig. 2013;17:S3-8.
6. Irwin CR, McCusker P.:
Prevalence of dentine hypersensitivity in a general dental population.
J Ir Dent Assoc. 1997;43:7-9.
7. Rees JS, Addy M.:
A cross-sectional study of dentine hypersensitivity.
J Clin Periodontol. 2002;29:997-1003.
8. Escalante-Otárola WG, Castro-Núñez GM, Jordão-Basso KCF, Guimarães BM, Palma-Dibb RG, Kuga MC.:
Evaluation of dentin desensitization protocols on the dentinal surface and their effects on the dentin bond interface.
J Dent. 2018;75:98-104.
9. Brodowski D, Imfeld T.:
Dentin hypersensitivity--a review.
Schweiz Monatsschr Zahnmed. 2003;113:49-58.
10. Wicht MJ, Noack MJ.:
Dentinhypersensibilität. Ursachen und Therapieoptionen.
Der frei Zahnarzt. 2014.
11. Orchardson R, Collins WJ.:
Clinical features of hypersensitive teeth.
Br Dent J. 1987;162:253-6.

12. Pandurić V, Knezević A, Tarle Z, Sutalo J.:
The efficiency of dentine adhesives in treating non-carious cervical lesions.
J Oral Rehabil. 2001;28:1168-74.
13. Susin C, Haas AN, Oppermann RV, Haugejorden O, Albandar JM.:
Gingival recession: epidemiology and risk indicators in a representative urban Brazilian population.
J Periodontol. 2004;75:1377-86.
14. Dababneh RH, Khouri AT, Addy M.:
Dentine hypersensitivity - an enigma? A review of terminology, mechanisms, aetiology and management.
Br Dent J. 1999;187:606-11.
15. Chabanski MB, Gillam DG, Bulman JS, Newman HN. Clinical evaluation of cervical dentine sensitivity in a population of patients referred to a specialist periodontology department: a pilot study.
J Oral Rehabil. 1997;24:666-72.
16. Absi EG, Addy M, Adams D.:
Dentine hypersensitivity--the effect of toothbrushing and dietary compounds on dentine in vitro: an SEM study.
J Oral Rehabil. 1992;19:101-10.
17. Banfield N, Addy M.:
Dentine hypersensitivity: development and evaluation of a model in situ to study tubule patency.
J Clin Periodontol. 2004;31:325-35.
18. Rimondini L, Baroni C, Carrassi A.:
Ultrastructure of hypersensitive and non-sensitive dentine. A study on replica models.
J Clin Periodontol. 1995;22:899-902.
19. Grippo JO, Simring M, Schreiner S.:
Attrition, abrasion, corrosion and abfraction revisited: a new perspective on tooth surface lesions.
J Am Dent Assoc. 2004;135:1109-18.
20. Kopycka-Kedzierawski DT, Meyerowitz C, Litaker MS, Heft MW, Tasgaonkar N, Day MR, Porter-Williams A, Gordan VV, Yardic RL, Lawhorn TM, Gilbert GH, Group NDPC.:
Management of dentin hypersensitivity by practitioners in The National Dental Practice-Based Research Network.
J Am Dent Assoc. 2017;148:728-36.
21. Saqib A, Imran F.:
Dentin Hypersensitivity: A Review of its Etiology, Mechanism, Prevention Strategies and Recent Advancements in its Management.
World Journal of Dentistry. 2013;4:188-92.

22. Matthews B, Vongsavan N.:
Interactions between neural and hydrodynamic mechanisms in dentine and pulp. Arch Oral Biol. 1994;39:87-95.
23. Cadden SW, Orchardson R.:
The neural mechanisms of oral and facial pain.
Dent Update. 2001;28:359-67.
24. van Loveren C, Schmidlin PR, Martens LC, Amaechi BT.:
Dentin Hypersensitivity: Prevalence, Etiology, Pathogenesis, and Management.
In: Dental Erosion and Its Clinical Management. Cham: Springer; 2015.
25. Braennstroem M, Astroem A.:
A study on the mechanism of pain elicited from the Dentin
J Dent Res. 1964;43:619-25.
26. Brannstrom M.:
The hydrodynamic theory of dentinal pain: sensation in preparations, caries, and the dentinal crack syndrome.
J Endod. 1986;12:453-7.
27. Pashley DH.:
Dentin permeability and dentin sensitivity.
Proc Finn Dent Soc. 1992;88:31-7.
28. Pashley DH.:
Dentin-predentin complex and its permeability: physiologic overview.
J Dent Res. 1985;64:613-20.
29. Schmidlin PR, Sahrman P.:
Current management of dentin hypersensitivity.
Clin Oral Investig. 2013;17:55-9.
30. West NX.:
Dentine hypersensitivity: preventive and therapeutic approaches to treatment.
Periodontol 2000. 2008;48:31-41.
31. Imfeld T, Sener B, Kuytz C, Brodowski D.:
Mechanische und chemische Wirkung einer neuen Zinnfluorid Zahnpaste auf Dentin.
Acta Med Dent Helv. 1999;4:107-14.
32. He T, Barker ML, Biesbrock AR, Miner M, Qaqish J, Sharma N.:
A clinical study to assess the effect of a stabilized stannous fluoride dentifrice on hypersensitivity relative to a marketed sodium fluoride/triclosan control.
J Clin Dent. 2014;25:13-8.
33. Orucoglu H, Belli S.:
Evaluation of the effect of four self-etching adhesives on dentin permeability.
J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2009;90:110-5.

34. Al-Jadaa A.:
Leakage and Permability Control in Dnetistry.
University of Tampere; 2016.
35. Bader S.:
Dichtigkeit verschiedener Implantat-Abutments in vitro. Zürich:
Universität Zürich; 2017.
36. Tønder KJ, Kvinnsland I.:
Micropuncture measurements of interstitial fluid pressure in normal and inflamed
dental pulp in cats.
J Endod. 1983;9:105-9.
37. Tønder KJ.:
Blood flow and vascular pressure in the dental pulp. Summary.
Acta Odontol Scand. 1980;38:135-44.
38. Brown AC, Yankowitz D.:
Tooth pulp tissue pressure and hydraulic permeability.
Circ Res. 1964;15:42-50.
39. Tønder KJ, Naess G.:
Microvascular pressure in the dental pulp and gingiva in cats.
Acta Odontol Scand. 1979;37:161-8.
40. Wiegand A, Attin T.:
Design of erosion/abrasion studies--insights and rational concepts.
Caries Res. 2011;45:53-9.
41. Tawakoli PN, Sener B, Attin T.:
Mechanical effects of different Swiss market-leading dentifrices on dentin.
Swiss Dent J. 2015;125:1210-9.
42. Schmalz G, Hellwig F, Mausberg RF, Schneider H, Krause F, Haak R, Ziebolz D.:
Dentin Protection of Different Desensitizing Varnishes During Stress Simulation: An In
Vitro Study.
Oper Dent. 2017;42:35-43.
43. Kim SY, Kim EJ, Kim DS, Lee IB.:
The evaluation of dentinal tubule occlusion by desensitizing agents: a real-time
measurement of dentinal fluid flow rate and scanning electron microscopy.
Oper Dent. 2013;38:419-28.
44. Wegehaupt FJ, Tauböck TT, Sener B, Attin T.:
Influence of light-curing mode on the erosion preventive effect of three different resin-
based surface sealants.
Int J Dent. 2012:874359.

45. Shiau HJ.:
Dentin hypersensitivity.
J Evid Based Dent Pract. 2012;12:220-8.
46. Kurt S, Kırtıloğlu T, Yılmaz NA, Ertaş E, Oruçoğlu H.:
Evaluation of the effects of Er:YAG laser, Nd:YAG laser, and two different desensitizers on dentin permeability: in vitro study.
Lasers Med Sci. 2018;33:1883-1890.
47. Yılmaz NA, Ertas E, Orucoğlu H.:
Evaluation of Five Different Desensitizers: A Comparative Dentin Permeability and SEM Investigation.
Open Dent J. 2017;11:15-33.
48. Ma Q, Wang T, Meng Q, Xu X, Wu H, Xu D, Chen Y.:
Comparison of in vitro dentinal tubule occluding efficacy of two different methods using a nano-scaled bioactive glass-containing desensitising agent.
J Dent. 2017;60:63-9.
49. Garofalo SA, Sakae LO, Machado AC, Cunha SR, Zezell DM, Scaramucci T, Aranha AC.:
In Vitro Effect of Innovative Desensitizing Agents on Dentin Tubule Occlusion and Erosive Wear.
Oper Dent. 2019;44:168-177.
50. Pashley DH, Thompson SM, Stewart FP.:
Dentin permeability: effects of temperature on hydraulic conductance.
J Dent Res. 1983;62:956-9.
51. Outhwaite WC, Livingston MJ, Pashley DH.:
Effects of changes in surface area, thickness, temperature and post-extraction time on human dentine permeability.
Arch Oral Biol. 1976;21:599-603.

9 Verdankung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Patrick R. Schmidlin bedanke ich mich für die Überlassung des Themas und die Begutachtung meiner Dissertation.

Ein grosses Dankeschön geht an meine Betreuer Dr. med. dent. Anas Al-Jadaa, PhD, für das Angebot dieser interessanten Arbeit, sowie die umfassende und allzeitige Betreuung.

Zusätzlich bedanke ich mich bei meinem zweiten Betreuer, PD Dr. med. dent. Florian J. Wegehaupt, für die zusätzlichen Tipps und kompetenten Ratschläge bei der Korrektur des Manuskripts.

Ich bedanke mich bei meinem Bruder, Dr. med. Patrick Bader, der mich erneut sehr unterstützt hat und viel Zeit aufgewendet hat.

Beim Labor der PPK bedanke ich mich beim ganzen Laborteam (Beatrice Sener, Claudia Cucuzza-Honti, Priska Irenen-Weber und Willi Bucher) für ihre Unterstützung.

Und schliesslich geht ein grosses Dankeschön an meine Familie und Freunde, die mich während dieser Arbeit und der Studienzeit stets begleitet und unterstützt haben.

9.1 Erklärung

Ich erkläre ausdrücklich, dass es sich bei der eingereichten schriftlichen Arbeit mit dem Titel Abrasionsresistenz von zwei Dentinversiegeln in vitro um eine von mir selbst und ohne unerlaubte Beihilfe sowie *in eigenen Worten* verfasste Dissertation handelt.

Ich bestätige überdies, dass die Arbeit als Ganzes oder in Teilen weder bereits einmal zur Abgeltung anderer Studienleistungen an der Universität Zürich oder an einer anderen Universität oder Ausbildungseinrichtung eingereicht worden ist.

10 Curriculum vitae

Sandra Jessica Bader

25.01.1991	Geboren in Wettingen, Aargau
1997 - 2002	Primarschule Turgi, Aargau
2002 - 2005	Sekundarschule Untersiggenthal, Aargau
2005 - 2007	Bezirksschule Turgi, Aargau
2007 - 2010	Fachmittelschule Wettingen, Aargau
2010 - 2012	Kantonsschule Baden, Aargau
	Matura Schwerpunkt: Psychologie, Pädagogik und Philosophie
2012 - 2014	Bachelor of Dental Medicine an der Medizinischen Fakultät der Universität Fribourg, Fribourg
2014 - 2015	Bachelor of Dental Medicine an der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich, Zürich
2015 - 2017	Master of Dental Medicine an der Medizinischen Fakultät der Universität Zürich, Zürich
08/2017	Eidg. Examen an der Universität Zürich, Zürich
11/2017 – 8/2019	Assistenz Zahnärztin bei Dres. Nägel, Bösch und Strebel in Zürich, Zürich
1/2017 - 7/2017	Assistenz Zahnärztin bei Dr. Bertschinger in Winterthur, Zürich
9/2018 - 5/2019	Assistenz Zahnärztin bei Dr. Strub in Baden, Aargau
Seit 09/2018	Assistenz Zahnärztin bei Dr. Baumgartner in Muri, Aargau